

Edición especial
XXII Reunión Latinoamericana del MAÍZ

Artículo/Article
Sección/Section B
11 (17), 18 – 29

Adaptación de una variedad heterogénea de maíz a la región Alto Andina, usando la selección mazorca – hilera modificada

Adaptación de variedad de maíz a la región Alto Andina

Manuel de la Cruz Díaz*, Ricardo Sevilla Panizo
[1] Universidad Nacional Agraria La Molina. Escuela de Post Grado. Lima, Perú.
* Autor para Correspondencia / Corresponding Author, e-mail: manudcd@hotmail.com

Adaptation of a heterogeneous maize variety to the Andean region, using the modified ear to row selection

Abstract

The cold weather and drought are two negative factors that limit the maize productivity in the highlands of the Andean region. Races of maize from the Andean region have grain traits characterized for exceptional softness and palatability. Those traits can be lost when the Andean races are crossed with other germplasm. This could be a limitation to introduce foreign germplasm into Andean maize, such as the northern region cold tolerance in the early stage of development. In 1986, a project to improve the productivity of an experimental variety formed with Peruvian and foreign germplasm in Jauja, Peru, at 3350 meters above sea level, was developed using the modified ear to row selection method. The method of selection allows to improve others characters as cold tolerance, maintaining the Andean type of ear and grain. Selection intensity for grain yield was 20% among families. Average selection gain for grain yield was 10.71% per cycle. Selection goal was to adapt the new variety for cold tolerance and consequently data related to rain, radiation and critical temperatures were recorded. Adjusted grain yield by climate data resulted in a grain yield of 10.1 t ha^{-1} for the 12th cycle of selection, and 4.4 t ha^{-1} for the original population. The selection method allowed maintains the Andean ear and kernel type and other cold tolerance traits and also the introduced cold tolerance in early stages of development trait proper of foreign germplasm.

Key words: Cold tolerance, Foreign germplasm, Gain of selection, Meteorological parameters, Selection cycles.

Resumen

En la región alto andina el frío y la sequía son dos factores que limitan la productividad del maíz. Las razas de maíz de esta región tienen caracteres de grano de extrema suavidad que se han desarrollado por selección humana para consumo directo sin casi ninguna transformación. Esos caracteres podrían deteriorarse cuando se cruzan con otras razas o variedades, situación que limita la incorporación de germoplasma



Editado por / Edited by:
Gabriela Albán

Recibido / Received:
2018/06/22

Aceptado / Accepted:
2018/10/11

Publicado en línea / Published online:
2019/05/20

foráneo para complementar al peruano. En 1986 se inició la selección de una variedad experimental formada con germoplasma nacional y foráneo tolerante al frío en las primeras etapas de desarrollo, en Jauja, Perú a 3350 metros sobre el nivel del mar (msnm). La variedad se desarrolló mediante selección por doce ciclos sucesivos usando el método selección mazorca-hilera modificada. El método de selección permitió mejorar caracteres como tolerancia al frío, manteniendo el tipo de mazorca y grano andino. Para incrementar el rendimiento, se aplicó una intensidad de selección de aproximadamente 20% entre familias e intensidad variable para caracteres de mazorca (sanidad y calidad organoléptica) dentro de las familias. La ganancia de selección promedio para rendimiento fue de 10.71% por ciclo. Como la selección se hizo para adaptar la variedad a condiciones limitantes de clima en cada ciclo de selección, cuando se hizo la evaluación de ciclos se registró la cantidad de lluvia total, cantidad de lluvia alrededor de la floración, radiación y suma de temperaturas letales durante el cultivo. Cuando los rendimientos de las poblaciones seleccionadas se ajustaron con la regresión entre el rendimiento y esos parámetros, el rendimiento del ciclo 12 fue de 10.1 toneladas por hectárea (t ha^{-1}), mientras que el del ciclo original fue de 4.4 t ha^{-1}. La efectividad de la selección se consiguió manteniendo los caracteres de mazorca y grano y la tolerancia al frío en los últimos estados de desarrollo, propios de las variedades peruanas y la tolerancia al frío de los primeros estados de desarrollo, propio del germoplasma foráneo.

Palabras claves: Ciclos de selección, Ganancia de selección, Germoplasma foráneo, Parámetros meteorológicos, Tolerancia al frío.

INTRODUCCIÓN

En el Perú, el frío es el principal factor limitante en las zonas productoras de la región alto andina. Se manifiesta con heladas o temperaturas bajo 0 °C con mucha intensidad y frecuencia. Para enfrentar el efecto de las heladas se usan tecnologías agronómicas tradicionales y variedades adaptadas. A mediados de la década de 1970, el Programa de Maíz de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), concentró el mejoramiento genético en Jauja, a 3350 metros sobre el nivel del mar (msnm). Aunque los métodos de selección intra-poblacional han mostrado ser exitosos en el mejoramiento de variedades de la sierra del Perú [1], la selección por adaptación a las condiciones alto andinas se hace con una intensidad de selección muy baja y un efecto muy fuerte del ambiente, sobre todo el efecto de años, que no permite una ganancia sostenible. Por lo tanto, hay la necesidad de evaluar el efecto de la selección a largo plazo, o sea con más de diez ciclos de selección.

El maíz producido principalmente en la Sierra del país tiene que ser muy suave y grato al paladar. Variedades de maíz formadas con germoplasma foráneo desmejoran notablemente la calidad del grano y la mazorca de los maíces peruanos que se consumen directamente. Es necesario por lo tanto mantener los caracteres de las variedades peruanas en el proceso de aumentar el rendimiento, la tolerancia al frío y otros caracteres importantes que provienen del germoplasma foráneo. Ese factor



reduce también la intensidad de selección, de manera que no se puede esperar ganancias notables para rendimiento. El mejoramiento del maíz en la sierra del Perú se ha orientado a la adaptación a las condiciones limitantes de clima y suelo [2].

Para mejorar la metodología de selección intra-poblacional, la cual no producía ganancias cuando se aplicaba a variedades de maíz, Lonnquist en 1964 propuso la selección mazorca-hilera modificada. Básicamente, esta metodología consiste en una combinación de selección entre y dentro de familias de medios hermanos, evaluadas en uno o más lugares, llevándose a cabo simultáneamente la recombinación de familias o progenies de mazorcas. Cada ciclo dura una sola generación. En un solo año se hace la selección, recombinación y formación de familias. Como la población que aporta el polen (macho) se forma con la mezcla de semillas de las mejores mazorcas del año anterior, es posible estimar directamente el progreso de selección comparando machos de años o ciclos sucesivos [3]. El método de selección permite mejorar otros caracteres como tolerancia al frío, manteniendo el tipo de mazorca y grano andinos.

Webel y Lonnquist en 1967 publicaron la utilización de este método para mejorar la variedad Hays Golden en Nebraska; mostraron que en cuatro ciclos se obtuvieron ganancias de 9.9% por ciclo de selección [4]. Paterniani también en 1967 reportó una ganancia promedio por ciclo de 13.6% en la variedad Paulista Dentada durante tres años sucesivos [5]. Romero en 1968 reportó una ganancia de 10.3% por ciclo en tres ciclos de selección en Honduras [6]. Darrah *et al.* en 1972 aplicaron el método en tres poblaciones de maíz en Kenya, obteniendo durante cuatro ciclos, una ganancia de 8% en el Sintético Kitale II, 39% en la accesión Ecuador 573 y 23% en el Compuesto Kitale A [7]. O sea diez años después que Lonnquist publicó el nuevo método de mejoramiento de maíz, los resultados mostraron que la aplicación del método era muy efectiva cuando las poblaciones de maíz no han sido mejoradas previamente para aumentar el rendimiento.

La selección mazorca-hilera modificada ha mostrado ser muy efectiva para el mejoramiento de las variedades en la región andina. Sevilla en 1975 reportó una ganancia promedio de 9.5% en ocho ciclos de selección en la variedad PMC-561, obteniendo un aumento de 11.2% por ciclo en la siembra de diciembre con fuertes heladas en la época anterior a la cosecha y 7.6% en siembras de Octubre [8]. La investigación de Gamarra publicada en el 2004, en la que seleccionó la variedad PMS-636, mostró también que no hubo ganancia de selección para rendimiento cuando la siembra fue realizada en octubre, pero si encontró una ganancia notable, de 6.1% por ciclo, en cuatro ciclos cuando la selección fue hecha a partir de una siembra en diciembre. Además, encontró ganancias considerables en caracteres asociados a la adaptación del maíz a zonas alto andinas, tales como, altura de mazorca (-2.6% por ciclo) y precocidad en base a días de floración (-0.2% por ciclo) [9].

La tolerancia al frío es un carácter complejo que compromete la reacción de muchos caracteres de la planta a bajas temperaturas. Dos son los componentes para que una planta resista a factores abióticos: evasión y tolerancia [10]. La evasión al frío hace que la planta reduzca el estrés usando caracteres morfológicos y fisiológicos propios de la planta. Los mecanismos de evasión son variados y dependen del estado de desarrollo de la planta. Así tenemos, los de los primeros estados de la planta, desde la germinación hasta el estado de plántula, y los del último estado de desarrollo. Ambos son importantes, porque

la planta los ha desarrollado en su proceso de adaptación a regiones donde el frío es más intenso en la época de siembra y cosecha. Sevilla en 1988, al revisar la literatura sobre tolerancia al frío en los primeros estados de desarrollo, confirmó sus propias observaciones de campo con los resultados encontrados en laboratorio de otros países, en el sentido que el germoplasma de maíz peruano no tiene tolerancia al frío en los primeros estados de desarrollo [11]. Se formó para ello, la variedad PMD-638, para introducir genes de tolerancia, provenientes principalmente de zonas nórdicas a las variedades peruanas de maíz [12]. En esa variedad se aplica ese método de selección desde 1987.

El germoplasma peruano no tiene un buen nivel de tolerancia en los primeros estados de desarrollo, pero si tiene mecanismos para tolerar el frío en los últimos estados de desarrollo de la planta [13]. Es por eso, que en todos los ciclos de selección se puso especial atención a los caracteres de la mazorca que según Greenblatt y Evaristo, son factores de evasión al frío [13, 14]. La productividad del PMD-638 se ha probado en condiciones del Valle del Mantaro en comparación con una muestra representativa de variedades de las razas San Gerónimo y San Gerónimo Huancavelicano [15]. El rendimiento de PMD-638 sólo fue superado, por una colección (muestra de semilla de agricultores) de un total de 59 probadas. Los objetivos de esta investigación fueron adaptar a la región alto-andina a una variedad de maíz formada con germoplasma andino y foráneo, a través de la selección para elevar el rendimiento manteniendo los buenos caracteres agronómicos y los caracteres de valor organoléptico del germoplasma andino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos de los 13 ciclos de selección reportados en este estudio se realizaron en los campos del Instituto Regional de Desarrollo de la Sierra de la Universidad Nacional Agraria La Molina, ubicado en la provincia de Jauja, departamento de Junín, a una altitud de 3350 msnm. Los trece ciclos de selección, incluyen desde la siembra del ciclo 0 y selección del ciclo 1 (1986-1987) hasta la siembra y selección del ciclo 13 (2001-2002).
PMD-638 se originó del cruce de la Población C por PMS-636. El PMS-636 es un sintético formado por líneas extraídas de la cruza Blanco Urubamba x San Gerónimo, las cuales fueron seleccionadas por tolerancia al frío durante dos ciclos, en base a los ensayos de rendimiento de líneas *per se*. La Población C se formó principalmente con el material seleccionado para tolerancia al frío que a partir de 1967 el Dr. Grogan formó en la Universidad de Cornell. El germoplasma seleccionado en la Universidad de Cornell se cruzó por San Gerónimo. La F_1 se retrocruzó a esa variedad y en 1983 se volvió a retrocruzar al San Gerónimo, y las progenies seleccionadas constituyeron la Población C, que fue seleccionada en base al comportamiento de medios hermanos durante varias generaciones. El cuarto ciclo de la selección por mazorca – hilera de la Población C, se cruzó como hembra con el cuarto ciclo de la variedad sintética PMS-636. La población resultante es la Población D, que se selecciona por selección mazorca hilera desde 1987. La Población D, se ha seleccionado de preferencia en época normal de siembra. Después de 8 ciclos de selección mazorca – hilera se liberó la variedad PMC-638.

Los experimentos para probar las familias de medios hermanos (progenies de mazorca) fueron dispuestos en un diseño de látice y analizados como bloques completos aleatorizados, con dos a más repeticiones. En cada año de selección, también se probaron como testigos, las semillas cosechadas de ciclos anteriores, del macho



polinizador, con el fin de comparar el progreso de selección "Tabla 1". En la mayoría de los ciclos, dos repeticiones se sembraron en octubre y dos en diciembre, porque las siembras en ese mes son afectadas por bajas temperaturas generalmente en el último estado de desarrollo, dañando a la mazorca, permitiendo la selección para tolerancia al frío. En todos los casos las parcelas tuvieron 3.60 m de largo y 0.8 m de ancho. Se sembró tres a cuatro semillas por golpe y se raleó para dejar 30 plantas por parcela.

TABLA 1. Característica de los experimentos de ciclos de selección y número de repeticiones.

Año de siembra - cosecha	Ciclo de Selección	Población seleccionada	Número de repeticiones	Testigos Probados
1986 - 1987	C0	1	2	---
1987 - 1988	C1	2	2	C0
1988 - 1989	C2	3	2	C0, C1
1989 - 1990	C3	4	2	C0, C1, C2
1992 - 1993	C4	5	2	C0, C1, C2, C3
1993 - 1994	C5	6	2	---
1994 - 1995	C6	7	4	C4
1995 - 1996	C7	8	4	C5, C6
1996 - 1997	C8	9	4	C5, C6, C7
1997 - 1998	C9	10	4	C7, C8
1998 - 1999	C10	11	2	C9
1999 - 2000	C11	12	3	C9, C10
2000 - 2001	C12	13	2	C10, C11
2001 - 2002	C13		4	C10, C11, C12

El método de selección usado fue la selección mazorca-hilera modificada, la cual consiste en seleccionar mazorcas en el bloque de recombinación, a partir de plantas superiores de familias seleccionadas por su comportamiento, en ensayos con repeticiones (selección entre y dentro de familias). A la cosecha, se pesa el rendimiento de cada parcela hembra y se seleccionan las más rendidoras; dentro de cada una de estas parcelas seleccionadas, se escogen las mejores mazorcas; que en el caso de la selección del PMD-636, son las más parecidas a la variedad local San Gerónimo para mantener los mecanismos de tolerancia al frío de las mazorcas. Esas mazorcas son las que pasan al siguiente ciclo. El macho se cosecha por separado y se guarda para que sirva como comparación o testigo de los siguientes ciclos. En todos los casos la selección entre familias fue por rendimiento y dentro de familias fue por aspecto y sanidad de mazorca. Se consideraron

dos tipos de presión de selección: presión de selección inter-familiar, que incluyó solo las familias seleccionadas para el siguiente ciclo y presión de selección intra-familiar que consideró el número promedio de mazorcas seleccionadas dentro de cada familia, sobre el número total de plantas de cada parcela de las familias seleccionadas.

Se realizaron análisis de regresión para estimar la ganancia por ciclo en porcentaje, en los siguientes años: 1990, comparando los ciclos C0, C1, C2; 1993, comparando los ciclos C0, C1, C2 y C3; en 1997 comparando los ciclos C5, C6 y C7; en el 2002 comparando los ciclos C10, C11, C12 "Tabla 1". En todos los casos, la ganancia de selección se estimó con el valor de la regresión, donde b = porcentaje de ganancia por cada ciclo de selección; x = ciclo de selección; y = porcentaje de rendimiento respecto a C0.

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) combinado con el fin de estimar el efecto de años (aleatorio) en los ciclos seleccionados (fijo) y se analizó con un diseño de bloques completos al azar y con un modelo aditivo lineal que incluía el efecto de años y de la interacción ciclo por año. Cuando la selección recurrente se hace durante muchos ciclos como en el presente caso, se puede probar la hipótesis que no hay interacción ganancia por ciclo, o sea que la ganancia siempre es igual a través de los ciclos. En las diferentes generaciones se probaron semillas de las poblaciones machos de uno o dos ciclos anteriores. Se utilizó la Prueba de Tukey para comparar las medias de diferentes caracteres evaluados en ciclos ya seleccionados y probados en el mismo año experimental, considerando como nivel de significancia $\alpha=0.05$.

Para expresar la ganancia a través de todos los ciclos de selección fue necesario juntar las ganancias ocurridas en años diferentes. Para eso fue necesario estimar la relación entre el rendimiento y las variables meteorológicas: b = ganancia de rendimiento en cada ciclo de selección por variación de la unidad meteorológica; x = unidad meteorológica; y = rendimiento en cada ciclo de selección. Luego, con la finalidad de corregir el efecto de años en los ciclos, se realizaron cálculos de las correlaciones y regresiones entre los promedios obtenidos y los siguientes factores meteorológicos: 1) Unidades de calor, que son las estimaciones de energía o calor requeridas por las plantas para alcanzar cada etapa de su desarrollo fenológico [16], 2) Precipitaciones Pluviométricas Totales (PP) o cantidad de lluvia total registrada en la etapa fenológica del cultivo, y 3) Sumatoria de Temperaturas Letales (STL), suma calculada a partir de temperaturas mínimas y de heladas consideradas letales para el cultivo. Para facilitar los cálculos de regresión se trabajó con signo positivo las temperaturas bajo cero. Los cálculos se realizaron en forma mensual, y son sumados para obtener el total correspondiente a la campaña de cada año. El cálculo se hizo en base al promedio obtenido de cada generación en su respectivo año experimental. La regresión permitirá conocer la magnitud con la que fue afectado o favorecido el rendimiento, con lo cual su corrección será resuelta en sentido inverso a lo que indique dicha regresión. Así se tiene que si determinado factor meteorológico influyó de manera negativa en el rendimiento, la corrección será sumar el valor de regresión calculado de acuerdo a las unidades en las que se dio determinado factor. Fue necesario convertir cada valor meteorológico en base de esas unidades de variación.

En algunos ciclos de selección se evaluó el número promedio de mazorcas por planta (número de mazorcas dividido entre el número de plantas de cada familia), aspecto de



la mazorca (se tuvo en cuenta que el mejor aspecto de la mazorca es el tipo peruano, por el tamaño y suavidad de grano, con un valor de 9: muy bueno, y con 1: muy mal aspecto). En otros ciclos se registró, cuando el cultivo fue afectado, el número de mazorcas dañadas por heladas, el número de mazorcas afectadas por *Fusarium moniliforme* y *Heliothis zea*, calculando el porcentaje de mazorcas afectadas. En todos los ciclos de selección, el rendimiento de parcela fue evaluado y se corrigió la humedad del grano al 14%; siendo la humedad de cosecha igual para todas las parcelas. Para ello, se tomó una muestra representativa de todo el campo y se determinó la humedad del grano. No se corrigió por número de plantas en la parcela porque la tendencia es que las familias más susceptibles al frío tengan menos plantas en la parcela.

RESULTADOS

Ganancia de Selección del rendimiento

En el análisis combinado se consideraron los años en los cuales se dispuso de semilla correspondientes a ciclos seleccionados. En los tres casos en que se analizó el rendimiento, el efecto de años fue altamente significativo y la interacción de ciclos por años fue altamente significativa cuando se probaron los ciclos superiores de selección; en esos casos la diferencia entre ciclos dependió del nivel de selección. En las campañas (1995-1996) y (1996-1997) así como en (2000-2001) y (2001-2002) no existieron diferencias significativas entre ciclos por la alta interacción ciclos por años.

FIGURA 1a. Ganancia de selección obtenida entre el ciclo C0 a C3 de una variedad de maíz utilizando el método de selección mazorca-hilera modificada. Regresión lineal de rendimiento y ciclos seleccionados, expresados en porcentaje respecto al ciclo inicial (C0). Jauja, Perú.

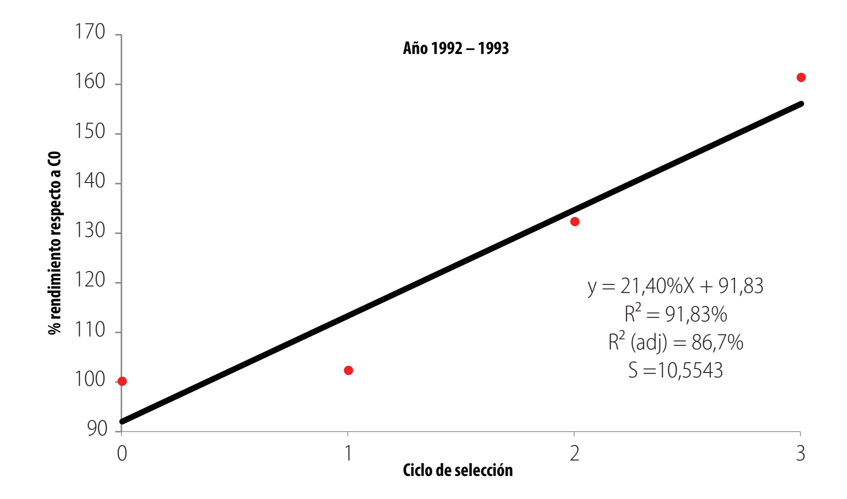


FIGURA 1b. Ganancia de selección obtenida entre el ciclo C5 a C7 de una variedad de maíz utilizando el método de selección mazorca-hilera modificada. Regresión lineal de rendimiento y ciclos seleccionados, expresados en porcentaje respecto al ciclo cinco (C5). Jauja, Perú.

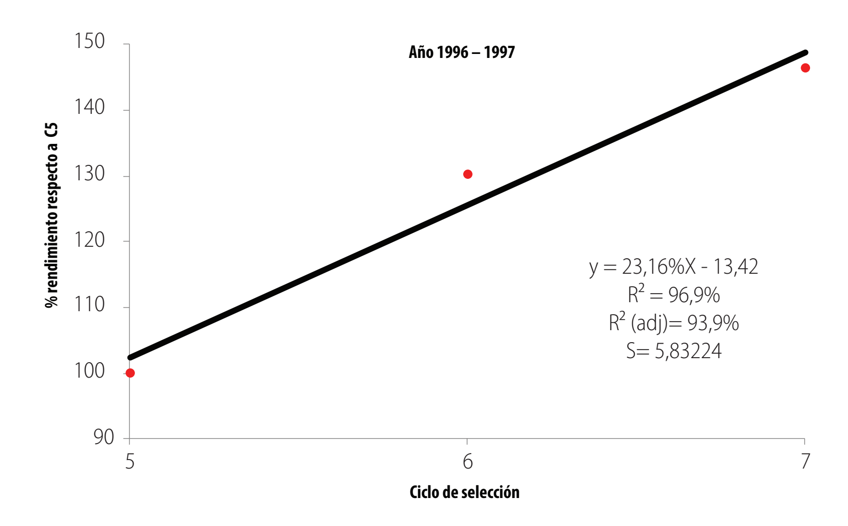
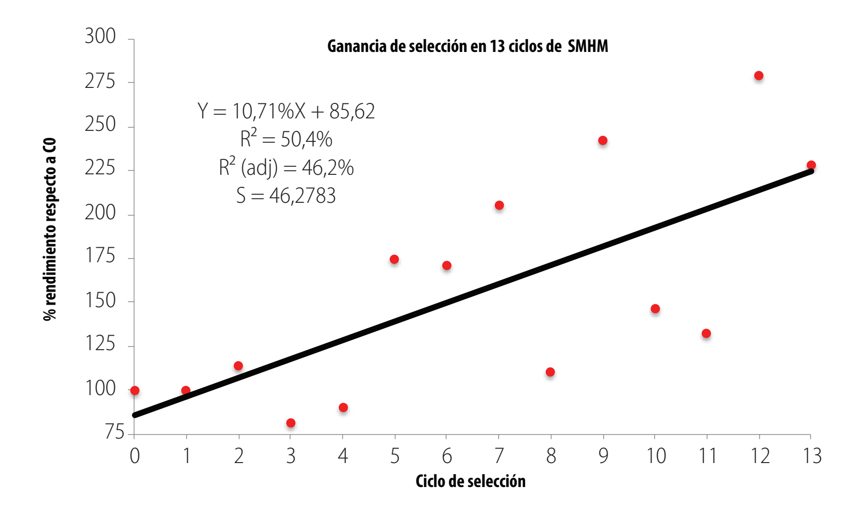


FIGURA 1c. Ganancia de selección obtenida entre el ciclo C10 a C12 de una variedad de maíz utilizando el método de selección mazorca-hilera modificada. Regresión lineal de rendimiento y ciclos seleccionados, expresados en porcentaje respecto al ciclo diez (C10). Jauja, Perú.





FIGURA 1d. Ganancia de selección de una variedad de maíz utilizando el método de selección mazorca-hilera modificada considerando 14 ciclos de selección, desde 1986 a 2002. Regresión lineal de rendimiento y ciclos seleccionados, expresados en porcentaje respecto al ciclo ainicial (C0). Jauja, Perú.



En el año 1997 cuando se probaron los ciclos seleccionados C5, C6 y C7 se encontró un incremento estadísticamente significativo de los rendimientos promedios a medida que avanza la selección. En la campaña 1997-1998 cuando se compararon los ciclos C7 y C8, las diferencias fueron significativas a favor de C8. En cambio, los rendimientos promedios de la campaña 1999 – 2000 resultaron en un retroceso de la selección para los ciclos seleccionados C9 y C10, con diferencias estadísticas significativas. En la campaña 2001 – 2002, la comparación entre los ciclos C10, C11 y C12 resultó significativa: C12 rindió 11034 kilogramos por hectárea (kg ha^{-1}), C11 rindió 10572 kg ha^{-1}, mayor a C10 que rindió 9613 kg ha^{-1}; todas las diferencias fueron estadísticamente significativas. Cuando se ajustaron los rendimientos con las correlaciones entre rendimientos y parámetros meteorológicos resultó en una ganancia por ciclo de selección de 10.7%. Estos cálculos fueron hechos en porcentaje y tomando como referencia el ciclo original (100%). La "Fig. 1" muestra la ganancia de selección en tres tramos: 1a (inicial), 1b (medio), 1c (final) y 1d considerando todos los ciclos ajustados con los parámetros ambientales.

El rango de número de mazorcas en la parcela entre número de planta fue de 0.68 en el ciclo 1 a 1.16 en el ciclo 2. Ese valor dependió más de las condiciones del clima, principalmente del frío, que del ciclo de selección. Se notó una tendencia del mejoramiento del aspecto de la mazorca hacia el patrón andino a través de los ciclos, con valores de 3.3 en el C8, a 6.5 en el C9. Los daños de pudrición de la mazorca causada por *Fusarium moniliforme*, por el gusano mazorquero (*Heliothis zea*) y por el frío, se evaluaron solo en los ciclos cuando ocurrió el daño, en las parcelas donde se compararon los ciclos en el experimento de familias. El porcentaje de daños por pudrición fue bajo: 2.1% en C7 y 2.9% en C8. Fue mucho mayor el daño del mazorquero: aproximadamente 35% en C7, C8, y C9. El porcentaje de daños causados por el frío se redujo de 31% y 30% en C5 y C6 a 20 y 24% en C7 y C8, respectivamente.

Los rendimientos fueron afectados por variables meteorológicas en diferentes proporciones y en todos los ciclos. La correlación fue negativa y significativa entre el rendimiento y la suma de temperaturas letales, y positiva y significativa entre el rendimiento y la cantidad de lluvia y las unidades de calor.

DISCUSIÓN

La ganancia de selección en la variedad PMD-638 es similar a las ganancias obtenidas en otras poblaciones en la sierra del Perú o en el extranjero. Además, en el caso de PMD-638 se mejoraron otras características como la tolerancia al frío y el aspecto de la mazorca; así como la capacidad de asociación del cultivo con habas. Las regresiones significativas entre el rendimiento y las variables meteorológicas permiten concluir que la variedad ha ganado estabilidad a través de años haciéndola más adaptable a ambientes con limitaciones impredecibles [17]. La estabilidad a través de años le permite a la variedad enfrentar las amenazas de climas extremos [18].

Un análisis preliminar de la adaptación a zonas alto andinas con temperaturas extremas permitió diferenciar marcadores para la tolerancia al frío y adaptación a bajas temperaturas. Chacón analizó los ciclos C9, C10, C11 de la variedad PMD-638, abriendo la posibilidad de marcar genéticamente la tolerancia al frío. También probó molecularmente que los ciclos de selección más avanzados de PMD-638 se parecían a PMS-636, una variedad formada con germoplasma enteramente peruano [19].

Como la selección se evaluó por tramos, se nota la diferencia entre tramos: del C0 a C3 la ganancia fue de 21.4% por ciclo; de C5 a C7 de 23.2% por ciclo, y de C10 a C12 de 7.4% por ciclo. En ese caso fue conveniente parar la selección poblacional probar otros métodos que aprovechen mejor la variancia no aditiva. Así mismo es necesario en estas variedades que van a cultivarse en las tierras alto-andinas seguir la selección para tolerancia al frío, sequía y resistencia a enfermedades y plagas. Eso requiere un buen control con el diseño estadístico para reducir el error experimental, controlar las interacciones genotipo por ambiente, estratificar el ambiente experimental, controlar la heterogeneidad del suelo, evaluar solo plantas con competencia completa y precisar la evaluación fenotípica. Gardner en 1976 (citado por Hallauer y Miranda) [20] mostraron los resultados de doce generaciones de selección mazorca hilera modificada en la variedad Hays Golden observándose una respuesta curvilínea con una reducción de la ganancia a partir del ciclo 7. Los resultados mostrados en esta investigación confirman que a largo plazo las ganancias por selección de los ciclos más avanzados podrían ser menores.

La selección mazorca-hilera modificada aplicada a la variedad PMD-638 incrementó el rendimiento por ciclo en 10.7%. La población seleccionada después de 13 ciclos de selección rindió 128% más que la población original. Además del rendimiento se mejoraron otras características, como el aspecto de la mazorca, manteniendo los caracteres morfológicos de evasión al frío. La tolerancia al frío de la variedad PMD-638 se evidenció desde los primeros ciclos de selección y continúo el mejoramiento de la tolerancia al frío en el último estado de desarrollo durante todos los ciclos de selección. La efectividad de la selección manteniendo las características propias de las variedades chocleras peruanas y la tolerancia al frío mostrada en los resultados de esta investigación



permiten concluir que ya se cuenta con una variedad de alta productividad adaptada a las condiciones más adversas del cultivo de maíz en la sierra del Perú.

AGRADECIMIENTOS

Al Comité Organizador y Científico de la XXII Reunión Latinoamericana de Maíz donde se presentó un resumen del presente trabajo.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Ricardo Sevilla planificó la investigación. Ricardo Sevilla y Manuel de la Cruz realizaron el trabajo de campo, los análisis estadísticos y redactaron el manuscrito.

REFERENCIAS

[1] Sevilla, R. (2016). *Mejoramiento poblacional del maíz amiláceo en la Sierra del Perú. Implicancias en la conservación de la diversidad y utilización sostenible*. En: XXI Reunión Latinoamericana de Maíz: pp 27-36. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal. Octubre, 2015. Santa Cruz, Bolivia.

[2] Sevilla, R. (2004). *Mejoramiento del maíz en la sierra del Perú*. En: Cincuenta años del Programa Cooperativo de Investigaciones en Maíz (PCIM), 1953-2003. Eds: W. Salhuana, A. Valdez, F. Scheuch, J. Davelouis: pp 158-187. UNA La Molina. Lima, Perú.

[3] Lonnquist J. (1964). A modification of the ear to row procedure for the improvement of maize populations. *Crop Science* 4: 227-228

[4] Webel O y J. Lonnquist. (1967). An evaluation of modified ear to row selection in a population of corn. (Zea mays L.). *Crop Science* 7: 651-655.

[5] Paterniani E. (1967). Selection among and within half-sib families in a Brazilian population of Maize. *Crop Science* 7: 212-216.

[6] Romero J. (1968). *Selección mazorca por hilera en Maíz*. Honduras C.A. Informe de la Secretaría de Recursos Naturales.

[7] Darrah L.L., S.A. Eberhart, L.H. Penny. (1972). A maize breeding method study in Kenya. *Crop Science* 12: 605-608.

[8] Sevilla R. (1975). *Selección mazorca-hilera modificada en una variedad de maíz de la Sierra Peruana*. Informativo del Maíz. N° Ext de Investigación I: 22-26. UNA La Molina. Lima, Perú.

[9] Gamarra G. (2004). *Ganancia genética por selección mazorca-hilera modificada en tres poblaciones de maíz amiláceo*. Tesis Mag. Scientiae. UNA La Molina. Lima, Perú.

[10] Levitt J. (1980). *Responses of plants to environmental stress. Vol 1*. Academic Press. New York. 497 pp.

[11] Sevilla R. (1988). *Selección para tolerancia al frío en maíz*. En: III Seminario sobre Mejoramiento a factores ambientales adversos en el cultivo de maíz. pp 1-52. Ed: B. Ramakrisna. PROCIANDINO, IICA. Quito, Ecuador.

[12] Sevilla R. (1995). *Germoplasma foráneo de maíz tolerante al frío en los primeros estados de desarrollo, para adaptar las variedades de maíz de la Sierra del Perú a siembras tempranas.* III Reunión Latinoamericana y VI Reunión de la Zona Andina de investigadores de maíz. pp 149-165. Cochabamba, Santa Cruz, Bolivia.

[13] Greenblatt I. (1985). *The ear of maize as a heat conserving device*. In: Northeastern Corn Improvement Conference. University of Miss. USA.

[14] Evaristo J. (1995). *Características morfológicas de la mazorca de maíz asociadas a la tolerancia al frío en germoplasma peruano y foráneo*. Tesis Mag Scientiae. UNA La Molina. Lima, Perú.

[15] Quispe W. (2004). *Comparativo de razas y variedades de maíz (Zea mays L.) del compuesto San Gerónimo Huancavelicano-San Gerónimo.* Tesis Ing Agrónomo. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú.

[16] Altet A. (2007). *Determinación de zonas potenciales para el cultivo de maíz amiláceo en Departamentos de Cuzco y Junín, mediante el uso de la teledetección.* Tesis Ms Scientiae. UNA La Molina. Lima, Perú.

[17] Allard y Bradshow. (1964). Implications of Genotype-Environment Interactions in Applied Plant Breeding. *Crop Science* 4: 502 - 508.

[18] Sevilla R y M. Holle. (2004). *Recursos Genéticos Vegetales.* Ed. Luis León Asociados. Lima, Perú.

[19] Chacón A. (2002). *Caracterización molecular de germoplasma de maíz nativo de región alto andina y de variedades mejoradas con germoplasma introducido.* Tesis Mg Scientiae UNA La Molina. Lima, Perú.

[20] Hallauer A.R., J.B. Miranda.1981. Quantitative Genetics in Maize Breeding. Iowa State Un. Press. Ames Iowa. USA.